



19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

12 **Offenlegungsschrift**  
10 **DE 197 28 653 A 1**

51 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**G 01 M 7/02**  
G 01 M 3/00  
G 01 N 22/02  
G 01 H 11/00  
G 01 F 1/66  
E 04 B 1/92  
B 23 Q 11/00  
B 65 D 90/50  
// G 01 L 13/06

21 Aktenzeichen: 197 28 653.4  
22 Anmeldetag: 4. 7. 97  
43 Offenlegungstag: 7. 1. 99

DE 197 28 653 A 1

71 Anmelder:  
MicAS Elektronik GmbH u. Co. KG, 09376 Oelsnitz,  
DE

74 Vertreter:  
Eisele & Kollegen, 88214 Ravensburg

72 Erfinder:  
Hillenbrand, Siegfried, 72461 Albstadt, DE

56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
zu ziehende Druckschriften:

DE	40 03 787 C1
DE	24 61 168 B1
DE-AS	15 48 394
DE	195 22 272 A1
DE	195 02 756 A1
DE	44 27 692 A1
DE	38 41 265 A1
DE	33 06 957 A1
DE	25 03 633 A1
DE	297 09 926 U1
DE-GM	18 12 856

US 52 49 163  
US 48 45 422  
US 40 95 475

MÖSINGER, Heinrich: Schwingungsanalysen im  
Maschinenbau. In: Technica, 20/1987, S.59-64;  
Prospekt: Vertriebs-Programm 0.2, der Fa.  
Endress + Hauser GmbH + Co., Maulburg, 1984,  
S.28/29;

BAKER, J.R., et.al.: A new, high sensitivity laser  
vibrometer. In: Optics & Laser Technology, Vol.  
22, No. 4, 1990, S.241-244;

SCHULTZ, K.I., FISHER, S.: Ground-based laser radar  
measurements of satellite vibrations. In: Applied  
Optics, Vol. 31, No. 36, 20. Dez. 1992, S.7690-  
S.7694;

MILES, Toby, et.al.: Bending vibration measurement  
on rotors by laser vibrometry. In: Optics Letters,  
Vol. 21, No. 4, Feb. 15, 1996, S.296-298;

CANBY, Thomas, Y.: Can We Predict Quakes? In:  
National Geographic, Juni 1976, S.830-835;

FOSTER, John, V.: A Laser Device for Remote  
Vibration Measurement. In: IEEE Transactions on  
Aerospace and Electronic Systems, Vol. AES-3,  
No. 2, March 1967, S.154-157;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

54 Verfahren zur Bestimmung der Oberflächenschwingungen von Körpern

57 Verfahren zur Bestimmung der Oberflächenschwingungen von Körpern, bei denen die zu untersuchende Oberfläche mit einer elektromagnetischen Strahlung ausgeleuchtet wird und die reflektierte Strahlung von einem Empfänger erfaßt und dann gemessen und analysiert wird. Verwendet wird ein CW-Doppler-Radar-Modul zur Erzeugung der ausgesandten und zum Empfang der reflektierten Strahlen. Dieser Modul ist ein Mikrowellenstrahler und -empfänger, der im Wellenlängenbereich von einigen Zentimetern bis wenigen Millimetern arbeitet. Die Anwendungsmöglichkeiten einerseits zur Erkennung gefährlicher und störender Schwingungen und andererseits zur Erfassung betriebsbedingter Schwingungen und gewollt angeregter Schwingungen sind vielfältig und werden anhand von Beispielen dargestellt.

DE 197 28 653 A 1

Oberflächenschwingungen oder -wellen haben bekanntlich eine weitreichende Aussagekraft über Qualitätsmerkmale von Gegenständen und Maschinen und werden deshalb schon lange und in zunehmendem Maße zur Untersuchung und fertigungstechnischen Qualitätssicherung analysiert. Zum einen geben Oberflächenschwingungen von bewegten Teilen Aufschluß über den Bewegungszustand, insbesondere über fehlerhafte Bewegungen z. B. infolge einer Unwucht. Zum anderen werden feste Gegenstände künstlich durch Anschlagen oder durch aufgebraute Piezo-Schwingungsgeber in Schwingung versetzt, um dann durch die Analyse dieser Schwingungen Diskontinuitäten im Werkstoff, z. B. Lunker in Gußstücken, festzustellen.

Diese mechanischen Oberflächenschwingungen werden in der Regel auf die umgebende Luft übertragen und können dann wie ganz normale Schallwellen, was auch Infra- und Ultraschall bedeuten kann, ausgewertet. Die Luft als Zwischenmedium und die dabei verwendeten Mikrophone haben jedoch vielfältige Nachteile, insbesondere die der Verzerrung, der Dämpfung und der Filterung der dynamischen Information.

Eine andere Möglichkeit der Analyse von Oberflächenschwingungen besteht in der Verwendung von aktiven (piezoelektrischen) oder passiven (piezoresistiven) Strukturen, die direkt und fest mit der zu untersuchenden Oberfläche verbunden sind. Die Aufbringung dieser Piezogeber ist jedoch problematisch und eigentlich nur im Vakuum mittels Dünnschichttechnik sauber zu lösen. Für die fertigungstechnische Überwachung oder für Kontrollzwecke ist dies ein umständliches Verfahren.

Schließlich ist es für Laborzwecke bekannt, Oberflächenschwingungen mittels der interferometrischen Holographie zu analysieren. Dieser Verfahren kann auch zur Erfassung schneller Vorgänge mit stroboskopischen Verfahren variiert werden.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein einfaches und hoch genaues Verfahren zur Erfassung und Analyse von Oberflächenschwingungen vorzuschlagen.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch das im Patentanspruch 1 gekennzeichnete Verfahren elegant gelöst. Dabei wird ein Doppler-Radar-Sensor eingesetzt. Dieser enthält einen Mikrowellenstrahler und einen Mikrowellenempfänger, die in einem Wellenlängenbereich von einigen Zentimetern bis wenigen Millimetern arbeiten können. Der Strahler wird auf die zu untersuchende Oberfläche gerichtet und je nach dem gewählten Abstand kann jede fast beliebige große Fläche, ausgehend von wenigen Quadratmillimetern, ausgeleuchtet werden. Die von dem schwingenden oder vibrierenden Oberflächengebiet reflektierte elektromagnetische Strahlung enthält auch den Transversalanteil, der davon abhängt, ob die Reflexionsfläche sich zum Empfänger hin oder von diesem weg bewegt. Schwingungsamplituden von 1 µm werden erkannt. Komplexe Schwingungsmuster können bezüglich ihrer Frequenzen analysiert werden. Bei erforderlicher Ortsauflösung muß der Sensor oder der Prüfling bewegt werden.

Mit dem vorgeschlagenen Verfahren können Oberflächenschwingungen erkannt werden, die mittels Mikrophonie nicht aufzuspüren sind.

Das Verfahren ist außerordentlich vielfältig anwendbar. Ein erster Anwendungsbereich ist das Erkennen und Erfassen gefährlicher und störender Schwingungen. Diese Oberflächenschwingungen können unmittelbar an rotierenden oder hin- und hergehenden Teilen von Maschinen und Instrumenten gemessen werden, wodurch es möglich ist, Unwuchten, Exzentrizitäten oder sonstige Störungen zu erken-

nen. In Betracht kommen z. B. schnell drehende Wellen von Motoren oder Maschinen, z. B. Rotoren in Openend-Spinnmaschinen, die auf genaue Drehzahl, Faserrückstände im Rotor oder Änderungen eingegebener Parameter überwacht werden. Uhren mit mechanisch bewegten Teilen lassen sich auf ihre Laufruhe prüfen. Oberflächenschwingungen an langsam laufenden, hoch belasteten Schiffsmotoren lassen auf Lagerschäden schließen. Dabei können fällige Reparaturen schon in einem sehr frühen Stadium erkannt werden. Es ist aber auch möglich, mit der gleichen Zielrichtung die Maschinengehäuse zu überwachen, um auf diese Weise Störungen der bewegten Teil in der Maschine zu erkennen.

Gefährliche Oberflächenschwingungen können auch an Gebäudeteilen, z. B. großen Glasflächen, an Gebäudefundamenten, Brücken oder sonstigen Bauwerken festgestellt werden, die ihre Ursache im Fahrzeugverkehr, Sturm, Wasserbewegungen, Erdbeben und Explosionen haben. Auch diese Untersuchungen dienen gewöhnlich der vorbeugenden Schadenserkenkung.

Bei Leitungen und Behältern für gasförmige oder flüssige Medien treten aufgrund eines Lecks stets Oberflächenschwingungen auf, so daß solche Störungen sehr früh erkannt und große Schäden vermieden werden. Ähnliche Erfolge lassen sich bei der Überwachung von Oberflächenschwingungen an Werkzeugen im Betrieb erzielen. Dabei läßt sich der bevorstehende Bruch eines Bohrers in einer Werkzeugmaschine oder einer Nadel in einer Textilmaschine zu einem so frühen Zeitpunkt erkennen, daß auch hier Folgeschäden vermieden werden können.

Ein weiteres großem Anwendungsgebiet der Erfindung ist die Erfassung und Analyse normaler betriebsbedingter Oberflächenschwingungen und so z. B. die Schwingungen von Rohren und Kanälen zum Zweck der Durchflußmessung. Und bei akustischen Geräten, nämlich Musikinstrumenten oder Lautsprechern, kann die Analyse zur Optimierung des Schwingers herangezogen werden.

Schließlich ist an das weite Anwendungsfeld der gewollt angeregten Oberflächenschwingungen zu denken, um auf diese Weise Werkstoffprüfungen an Bauwerken, Maschinen, Gußstücken, großen Glasflächen und dergleichen vorzunehmen. Dabei ist es möglich, Diskontinuitäten jeder Art, nämlich Risse, Einschlüsse usw. im Werkstoff festzustellen oder aufgrund von Formfehlern auftretende unzulässige Eigenresonanzen festzustellen. In diesen Zusammenhang gehört auch ein sekundäres Meßverfahren für den Füllstand oder den Innendruck von Behältern für Schüttgüter oder flüssige oder gasförmige Medien. Intern oder extern angeregte Oberflächenschwingungen hängen nämlich von diesen Zustandsgrößen ab.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung der Oberflächenschwingungen von Körpern, **dadurch gekennzeichnet**, daß die zu untersuchende Oberfläche mit einer elektromagnetischen Strahlung ausgeleuchtet wird und daß die reflektierte Strahlung von einem Empfänger erfaßt und dann gemessen und analysiert wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß ein CW-Doppler-Radar-Modul zur Erzeugung der ausgesandten und zum Empfang der reflektierten Strahlung vorgesehen ist.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Modul ein Mikrowellenstrahler und -empfänger ist.
4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß eine Mikrowellenstrahlung im Wellenlängenbereich von einigen Zentimetern bis wenigen Millime-

tem eingesetzt wird.

5. Anwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1-4,

5.1. zur Erkennung und Erfassung gefährlicher und störender Schwingungen 5

5.1.1. an rotierenden oder hin- und hergehenden Teilen von Maschinen und Instrumenten, aufgrund von Unwuchten, Exzentrizitäten oder sonstigen Störungen,

5.1.2. an Maschinengehäusen oder dergleichen zur Störungsüberwachung oder präventiven Schadensfeststellung 10

5.1.3. an Gebäudeteilen, Glasflächen, Brücken oder sonstigen Bauwerken aufgrund von Fahrzeugverkehr, Sturm, Wasserbewegungen, Erdbeben und Explosionen, 15

5.1.4. an Leitern und Behältern für gasförmige oder flüssige Medien aufgrund von Lecks,

5.1.5. an Werkzeugen zur vorbeugenden Brucherken- 20

5.2. zur Erfassung betriebsbedingter Schwingungen von Rohren und Kanälen zum Zweck der Durchflußmessung,

5.3. zur Erfassung von Schwingungen an Musikinstrumenten und Lautsprechern zum Zweck der Optimierung des Schwingers, 25

5.4. zur Erfassung gewollt angeregter Schwingungen an Bauwerken, Maschinen, Gußstücken und großen Glasflächen zur Erkennung von Diskontinuitäten im Werkstoff und unzulässigen Eigenresonanzen, 30

5.5. zur Erfassung gewollt angeregter Schwingungen von Behältern zum Zweck der Füllstands- oder Innendruckmessung. 35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -